

dr. Vásárhelyi Balázs
okl. építőmérnök, geotechnikai tervező
vasarhelyib@gmail.com

Budapest, 1126
Hollósy Simon u. 3
06-20/460-11-82

**GEOLÓGIAI, HIDROGEOLÓGIAI ÉS
MÉRNÖKGEOLÓGIAI
SZAKVÉLEMÉNY**

Lillafüred – kerékpáros és gyalogos híd tervezéséhez

Budapest
2019. május hó

**GEOLÓGIAI, HIDROGEOLÓGIAI ÉS
MÉRNÖKGEOLÓGIAI
SZAKVÉLEMÉNY**

Lillafüredi – kerékpáros és gyalogos híd tervezéséhez

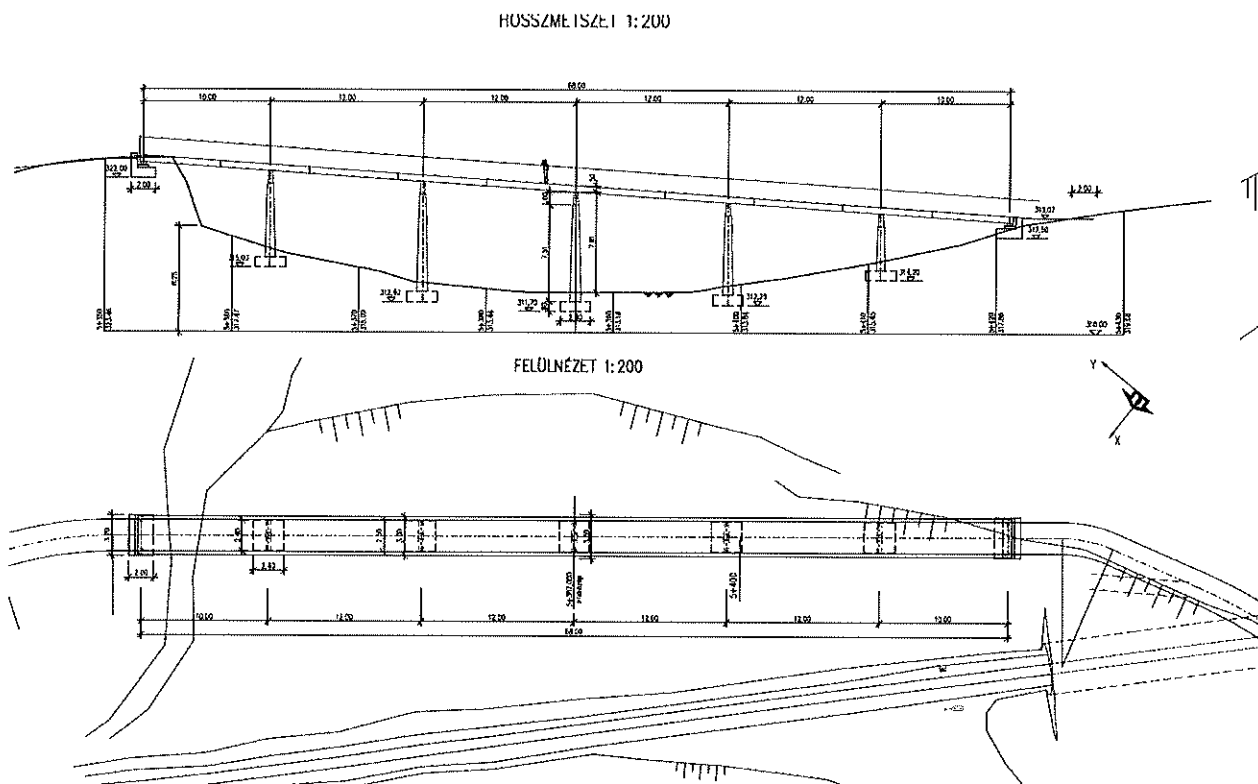
Tartalomjegyzék:

2. Helyszín leírása	3
3. Geológiai viszonyok	5
4. Szeizmicitás	7
5. Hidrogeológiai viszonyok	8
6. Kőzettest minősítése, osztályozása	10
7. Mérnökgéológiai számítások.....	14
7.1 RMR érték meghatározása.....	14
7.2 GSI érték meghatározása.....	14

1. Bevezetés, kiindulási adatok, adatszolgáltatás

Jelen szakvélemény tárgya a Lillafüredi Állami Erdei Vasút felújításával kapcsolatosan tervezett biciklis függőhíd alapozásához, lehorgonyzásának tervezéséhez engedélyezési terv szinten geotechnikai alapadatok szolgáltatása. Jelen tervfázisban feltárások nem készültek, hanem szemrevételezéssel történt a felszínen is megjelenő szikla értékelése és ez alapján a tervezési paraméterek megadása.

Jelen jelentés elkészítéséhez a tervezett út tervei rendelkezésünkre álltak. Ez alapján a 6,7 %-os meredekségű függőhíd a 5+354,59 – 5+423,23 l, szelvények között készül el. A hídtól északra a kisvonal pályája található – az itteni alagúthoz 2019. februárjában a Roden Kft. geológiai szakvéleményt készített, melyet jelen szakvéleményben felhasználtunk.

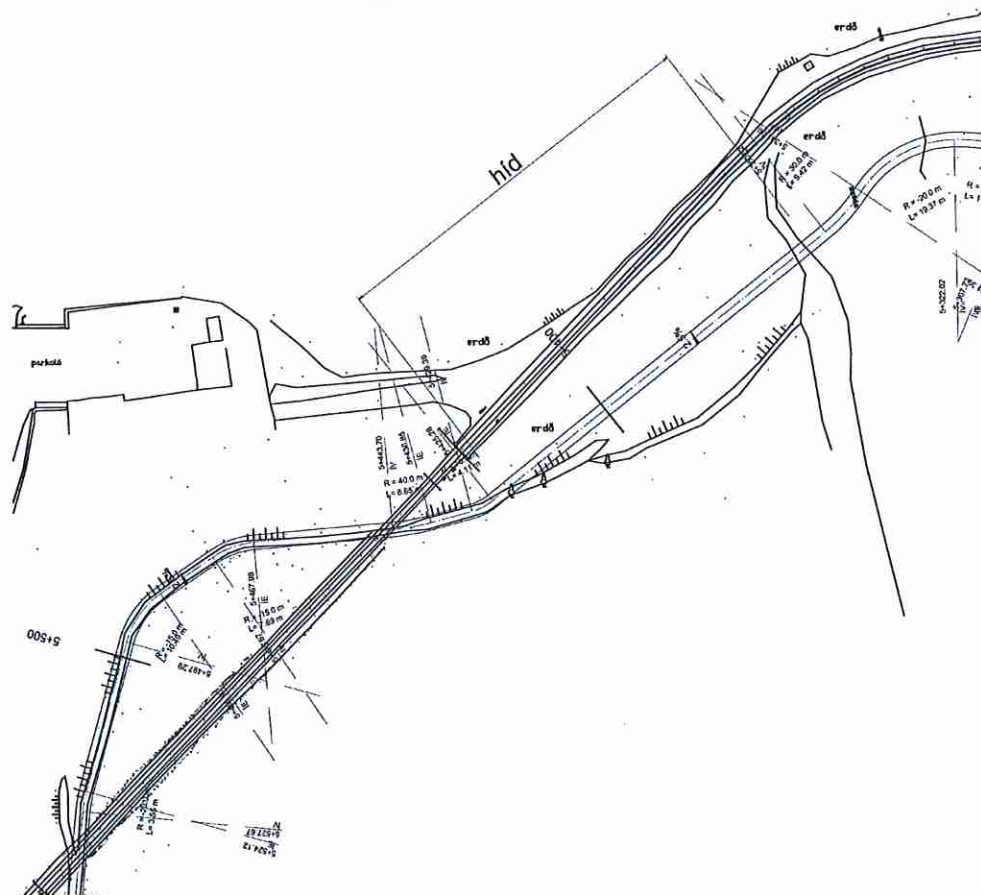
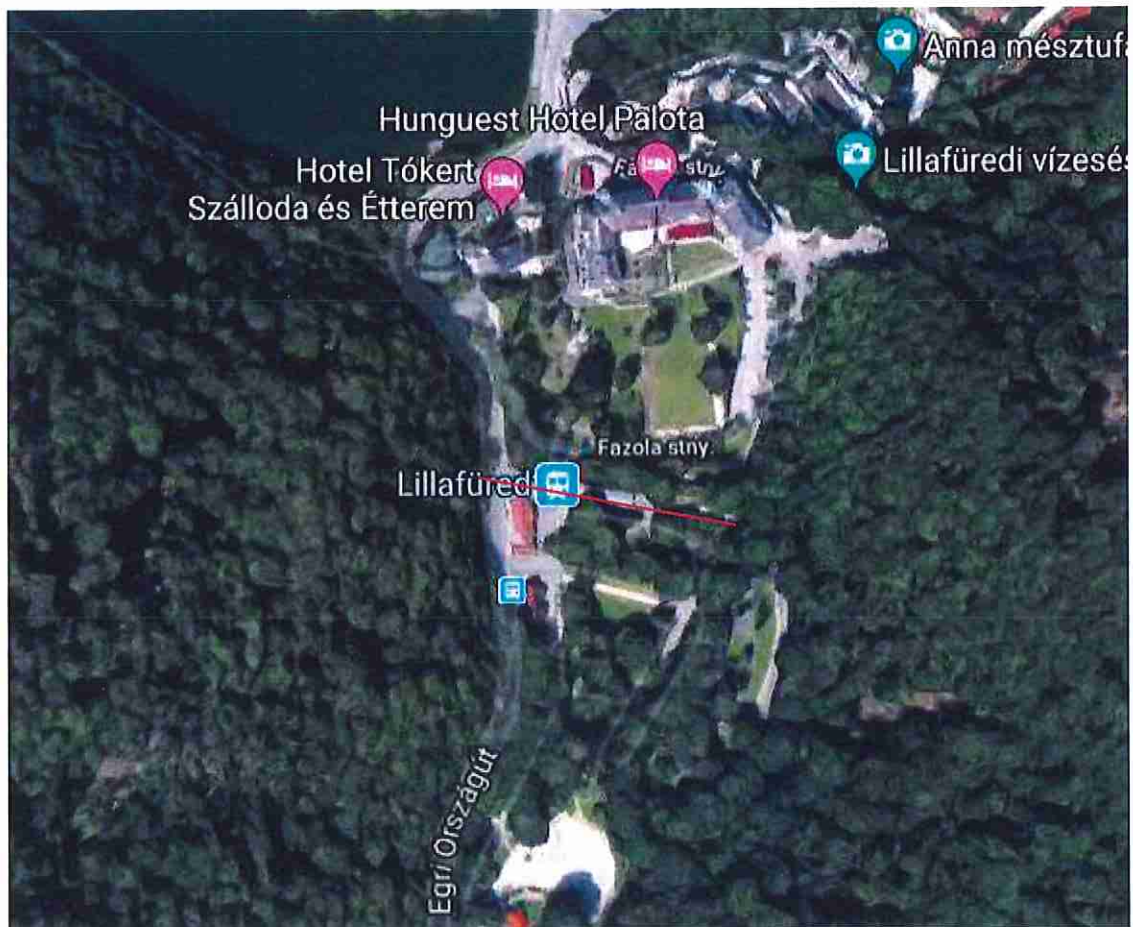


Közelítő reakciók:

- pilléreknél max. 600 kN,
- hídfőknél max. 400 kN

2. Helyszín leírása

A vizsgált terület Miskolctól nyugatra, a Lillafüredi Palota szálló közelében található. A táj környezet sziklás, hegyes, valamint a rendezett parkkal üzemelő szállón és néhány épületen kívül erdős. A közelben – szintben jóval mélyebben – helyezkedik el a Hámori tó, melynek vize szabályozott. A kisvasút a szállodától délre keresztezi az Egri Országut, és a geomorfológia miatt 2 alagút került kialakításra. Ezek mellett készülne el az új függőhíd.



3. Geológiai viszonyok

A tervezett függőhíd környezetföldtani helyzete, az 1920-2000 közötti hegységi földtani térképezésekből, valamint az 1950-1995 közötti víz-, és mérnökgeológiai kutatások alapján értékelhető.

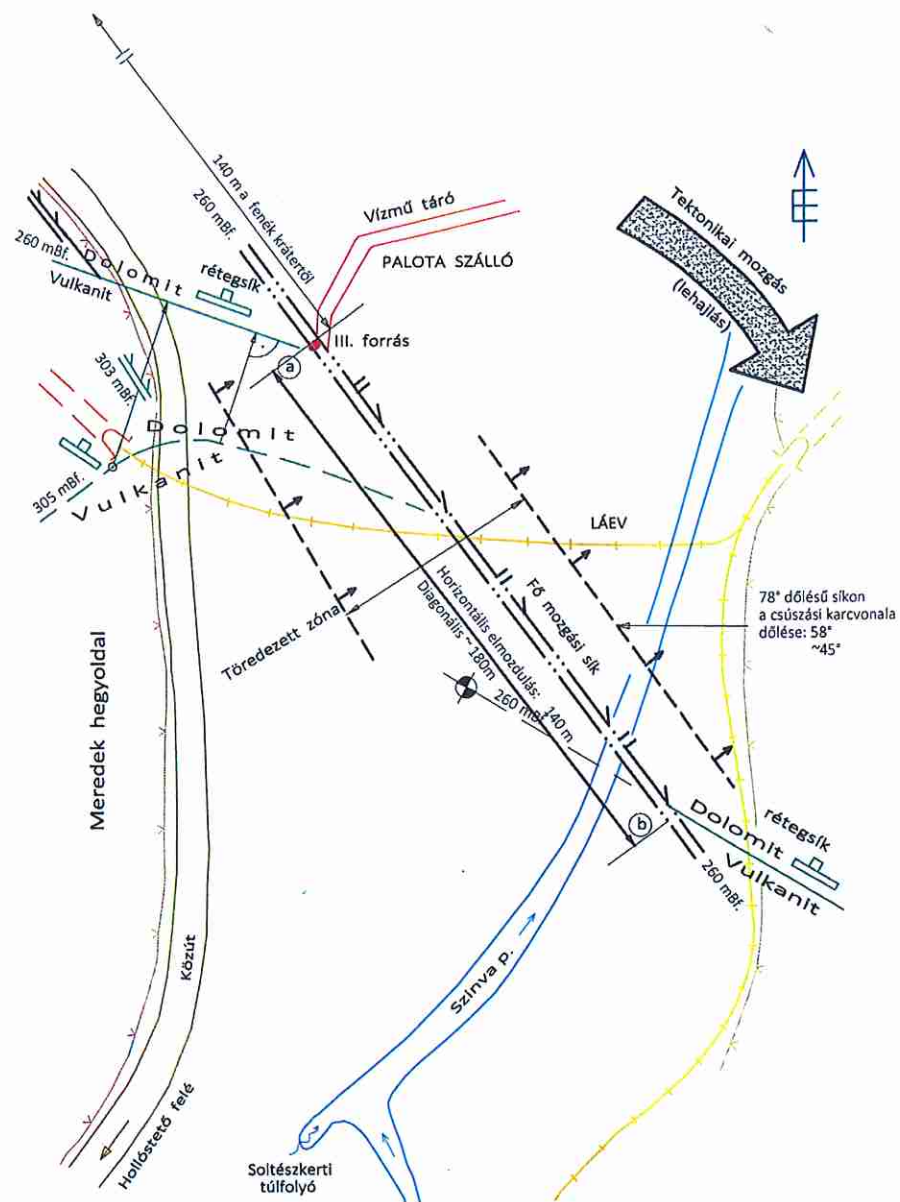
A kisvasúti állomás környezetében a völgy két oldalán látható dolomit/vulkanit közethatárok közel 100 m-es látszólagos eltolódása, az útkanyar dolomit sziklabevágásában tanulmányozható törési sík 52° -os vetőtűkre, valamint 40 m-el a felszín alatt kialakított vízmű táróval feltárt, a Hámori tótól követhető törésvonal alapján kiserkeszthető egy másodrendű diagonális elmozdulási sík 180 m valódi, DK-felé lehajló elmozdulással. Ez kísérő törése az un. bükkszentkereszti nagy hegységszerkezeti elnyíródási vonalnak. Ennek a rendszernek egy kiüregelődött eleme tárul fel a felső alagút túlsó végén. Ez a lillafüredi eltolódás végig követhető a völgyet harántoló közethatárok alapján, egészen a Szinva forrásokig.

A kb. 10 millió éve lezárult hegységképződési esemény maradéka, az alagutak környezetben rejtőzködő kőzetmechanikai mobilitás. Ezen tektonikus zóna repedékessége miatt vágódott be az É-D irányú völgyszakasz a legutóbbi félmillió év alatt. A völgy állomás körüli szakaszán, az építési feltöltési rétegek alatt települő 10-40 m vastagságú „mésztufa” réteg kora – a benne talált növénymaradványok alapján – pleisztocén Riss emeletbeli.

Az alagutak környezetében az 1980-as években részletes kutatást végeztek az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat geológusai, majd KEVITERV-es irányításával, a Függőkert és Palotaszálló alatti Anna-forrasi karsztvíz termelő vágatrendszer hozamnövelése és a Hámori-tó felőli vízminőség védelme céljából voltak kutatások. 1986 telén az aláüregelődött mesterséges nagy vízesés leomlott (150-200 tonnányi kőzet, 20 m-ről) ami jelentős repedéseket okozott az Anna-barlangban és a Függőkert támfal rendszerében.

Az alsó (keleti) alagút állomás felé eső vége az un. Hámori Dolomit (tömbösen repedező, de kovás, nagyobb tömörszilárdságú) Formációban indul, majd a felén túl az Ablakoskő-völgyi Pala (lemezes, inhomogén, mállekony) Formáció Savósi Mária Tagozatában halad, és a Lillafüredi Mészkő (pados rétegelválású) Tagozatban végződik. A réteghatárokat az alagút keresztmetszet legnagyobb szekundér kőzetfeszültségnek kitett vállában köbméteres nagyságrendű utólagos kiüregelődések jelzik. Az alsó (keleti) alagút közel merőlegesen halad a rétegek csapás-irányra, ami kőzetmechanikai (állékonysági) szempontból kedvező.

A felső (nyugati) alagút végig a Hámori Dolomitban halad, de közel párhuzamosan a fentiekben leírt, az alagútban is látható hegységszerkezeti vonalakkal. Kedvezőtlen aszimmetrikus hatása ÉNy felé haladva fokozódva látható a főtében, az elvékonyodó kőzetköpeny miatt. Ennek következménye, hogy a felső-alagút kismértékű után-pergéssel formálódott keresztmetszete 10-20 %-al nagyobb, mint az alsóé.



A terület sematikus geológiai képe - áttolódások

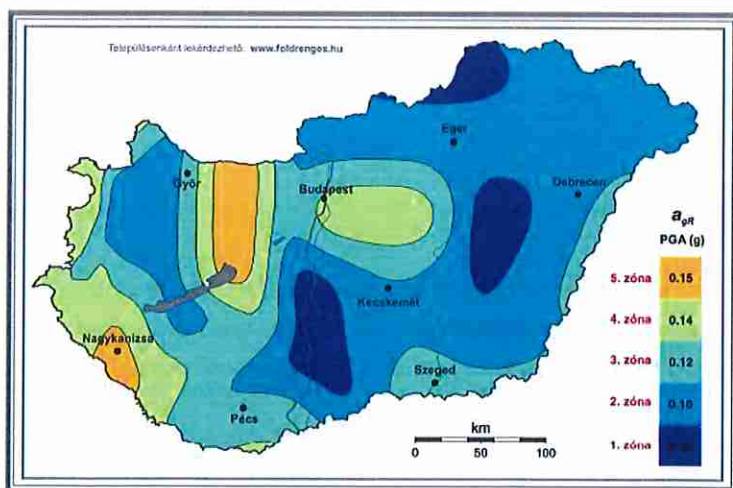
Az alábbi képek a közeli nyíltfeltárások, melyek alapján következtetni lehet a pillérek alatti szikla állapotáról.



4. Szeizmicitás

A terület szeizmicitását az Európai Unióban jelenleg hatályos és Magyarországon is érvénybe helyezett szabványok alapján határoztuk meg:

- MSZ EN-1998-1:2008: „Eurocode 8: Tartószerkezetek tervezése földrengésre 1. rész: Általános szabályok, szeizmikus hatások és az épületekre vonatkozó szabályok” és kapcsolódó „Nemzeti Melléklet”
- MSZ EN 1998-5:2009: „Eurocode 8: Tartószerkezetek földrengésállóságának tervezése 5. rész: Alapozások, megtámasztó szerkezetek és geotechnikai szempontok”.



Magyarország területén a szeizmicitás (földrengés aktivitás) mérsékelt, ennek ellenére erősebb földrengések (5-6 magnitúdó, az epicentrum környékén komoly épület-károk) kis számban, de előfordulnak. A szeizmikus aktivitás területi eloszlása nem homogén, vannak az átlagnál egyértelműen aktívabbnak nevezhető területek. A XIX. század közepétől napjainkig terjedő időszak rengéseinek gyakorisága alapján az ország területén gyakorlatilag évente négy-öt

2,5-3,0 magnitúdójú, az epicentrum környékén már jól érezhető, de károkat még nem okozó földrengésre kell számítani. Jelentősebb károkat okozó rengésre 15-20 évenként, míg erős, nagyobb károkat okozó 5,5-6,0 magnitúdójú földrengésre 40-50 éves intervallumban lehet számítani.

Az MSZ EN 1998-1 (EUROCODE 8) szerint a vizsgált terület a 2-es zónába sorolható. A definiált földrengésből származó maximális horizontális gyorsulás az alapkőzeten [„A” típusú talajon] $a_{gR} = 0,10g \text{ m/s}^2$. Ez a gyorsulási érték 50 év alatt, 10 % valószínűséggel, azaz 475 évenként egyszer várható (Forrás: GeoRisk). A talajkörnyezet az adott helyen „A” típusú.

Altalaj osztály	Leírás	Paraméterek		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (ütés/30 cm)	C_u (kPa)
A	Szilárd kőzet vagy kőzetszerűen viselkedő geológiai képződmény, amely felett legfeljebb 5 m gyengébb fedőréteg van	>800	-	-

Az EUROCODE 8 szerint a talajosztályok a szerint használatosak, hogy miként befolyásolják a helyi talajviszonyok a szeizmikus hatást. A beépítendő területet a talajfeltárásokból és laboratóriumi vizsgálatokból nyert talajjellemzők alapján a A típusú altalajosztályba soroljuk.

Magyarországon a rengés magnitúdója meghaladja az 5,5-os értéket, ezért az EC 8 szerint az 1. típusba tartozik. Az MSZ EN 1998-1:2008 szabvány táblázata alapján az 1. típusba tartozó és A típusú talajokkal fedett területen a talajszorzó értéke: $S=1,00$ és a rezgési idők: $T_B = 0,15 \text{ s}$; $T_C = 0,40 \text{ s}$ és $T_D = 2,0 \text{ s}$ -ra vehetők fel.

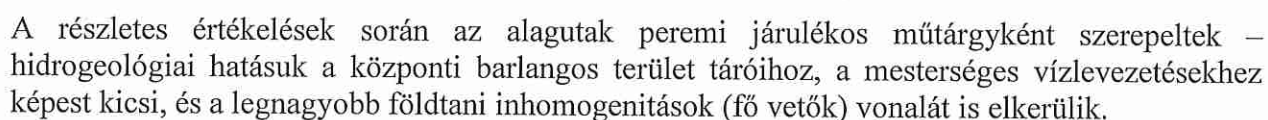
altalajosztály	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,15	0,4	2,0
B	1,20	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,40	0,15	0,5	2,0

A fenti besorolást a terület általános talajviszonyainak ismeretében végeztük. A földrengés-veszélyességi talajosztályokba való besorolás pontosításához minimum 30,0 m mélységű feltárások szükségesek, esetünkben ezt azonban fölöslegesnek tartjuk.

5. Hidrogeológiai viszonyok

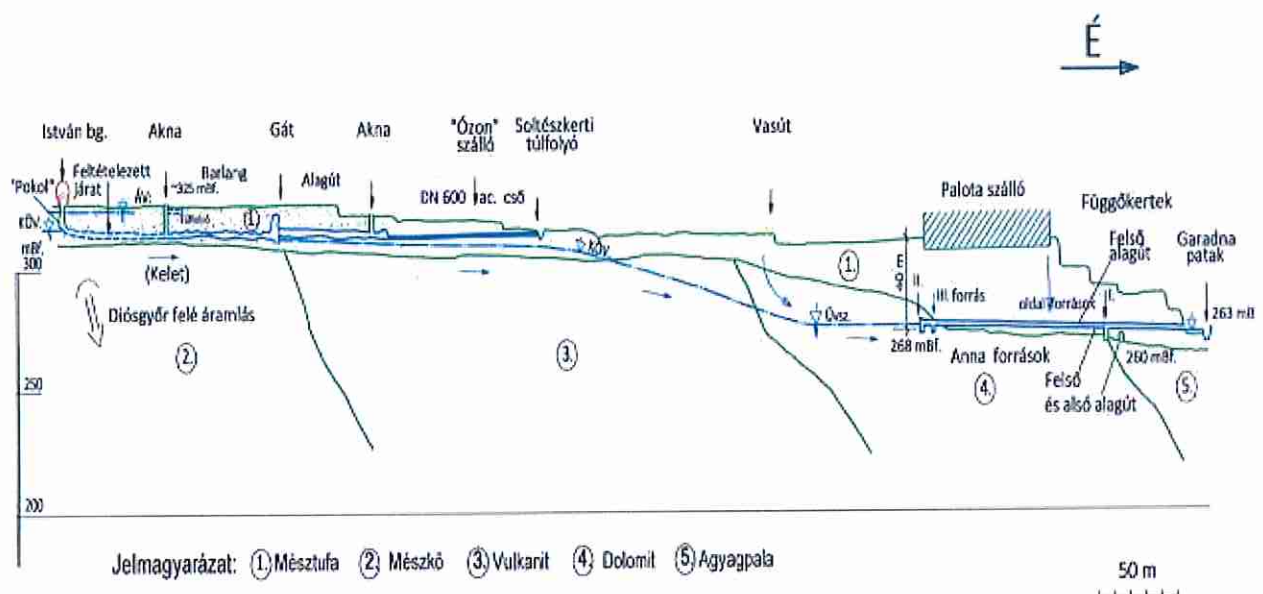
A Palota-Szálló tágabb környezetében hosszú évtizedeken át végeztek különféle hidrogeológiai, speleológiai, geotechnikai feltárásokat és vizsgálatokat. A területértékelő anyagok alapján egy igen sokszínű összetett kép adódik. A terület természetes állapotban is összetett vízáramlási rendszerét a források, tárolók, függőkertek rendszerének kialakításával egy nagymértékben mesterséges környezetbe került. A területre vonatkozó vízügyi értékelések kapcsán sor került sérülékenységi elemzésekre is – ezek figyelmeztetnek a területen található különféle vízgazdálkodási, idegenforgalmi, közlekedési létesítmények veszélyeztetettségére. Például a közelmúltban látványosan átépített függőkert egy 40 m vastagságot is elérő, kedvezőtlen

A terület hidrogeológiai vázlata az alagutakkal együtt az alábbi:



A vizsgált terület rész vázlatos hidrogeológiai szelvényét az alábbi ábrán mutatjuk be. Amint az jól látható, a karsztvízszint nem közelíti meg a kisvasút pályaszerkezetét, annak megjelenésével nem kell számolni.

A tervezett függőhíd térségében talajvízadó réteg nincs. Mindkét alagút a repedezett-karsztos tárolók feletti háromfázisú beszivárgási zónába esik, azaz az alagutak környezetében levő közettest üregeit részben levegő, részben a beszivárgó talajnedvesség tölti ki.



A területen lévő porózus kőzeteken, valamint elsősorban a kőzetek igen jelentős tagoltsága mentén a csapadék gyorsan átszivárog.

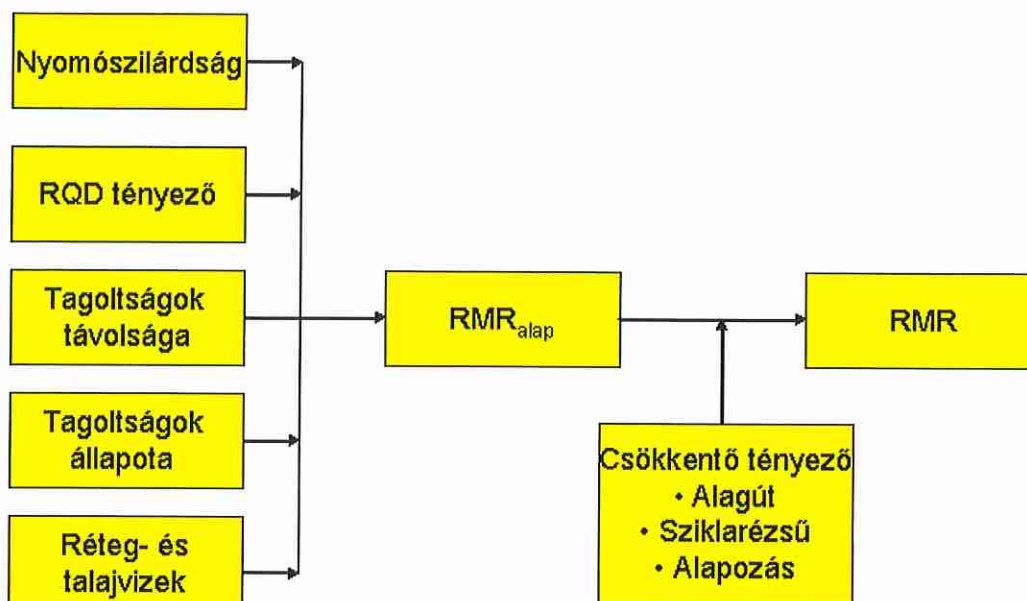
6. Kőzettest minősítése, osztályozása¹

Az RMR módszert (melyet az angolszász szakirodalomban számos esetben Geomechanikai Osztályozásnak is neveznek) Bieniawski fejlesztette ki 1973-ban, Dél-Afrikában üledékes kőzetben (főleg mészkőekben), sekély mélységben vezetett alagutak építésére, melyet ma már kőzettesten történő alapozásra is használnak. Az RMR módszer a kőzettest tulajdonságait a mérnöki létesítmény figyelembe vételével szuperponálja, azaz az alagút esetében a jövesztés irányát is figyelembe veszi. Az osztályozás az alábbi hat tényező figyelembe vételét tartja fontosnak:

1. A kőzet egyirányú nyomószilárdsága; (r_σ)
2. RQD tényező; (r_{RQD})
3. A tagoltságok távolsága („sűrűsége”); (r_x)
4. A tagoltságok állapota; (r_a)
5. Réteg- és talajvizek; (r_G)
6. A tagoltságok iránya (r_d)

Az RMR érték a tényezőkhöz rendelt jelzőszámok összege. Az összeg 0 és 100 között változhat. Az első öt tényező adja az RMR alapértékét (RMR_{alap}), melyet a tagoltság irányával csökkentünk annak függvényében, hogy az a létrehozandó műtárgy fajtájával, orientációjával, kialakításának irányával milyen geometriai viszonyban van. A módszer használatának folyamatábráját az alábbi:

¹ Ezen fejezet, ill. a számítások Vásárhelyi B. (2016): Az alkalmazott kőzetmechanika alapjai. Hantken kiadó, p. 300. alapján történt.



Az RMR meghatározásának folyamatábrája

A tényezők osztályba sorolása és értékeik az alábbiak:

Az ép kőzet nyomószilárdságához rendelhető RMR jelzőszám

Osztály	Minősítése	Egyirányú nyomószilárdság [MPa]	Pont-terheléses szilárdság [MPa]	Jelzőszám
I.	rendkívül szilárd	> 250	> 8	15
II.	nagyon szilárd	100 – 250	4-8	12
III.	szilárd	50 – 100	2-4	7
IV.	közepes szilárdságú	25 – 50	1-2	4
V.	gyenge	10 – 25	nem mérhető	2
VI.	nagyon gyenge	2 – 10	nem mérhető	1
VII.	rendkívül gyenge	1 – 2	nem mérhető	0

Megjegyzés: 0,6 MPa-nál kisebb nyomószilárdság esetén már talajról beszélünk.

Terepi meghatározás és a várható egyirányú nyomószilárdság közötti kapcsolat

Egyirányú nyomószilárdság (MPa)	Terepi megfigyelés	Példák
> 250	Geológuskalapáccsal csak forgácsolható	üde bazalt, diabáz, gneisz, gránit, kvarcit
100-250	A geológuskalapács sok ütésével lehet csak egy darabot nyerni belőle	amfibolit, homokkő, bazalt, gabbró, granodiorit, mészkő, márvány, riolit
50-100	A geológuskalapáccsal több mint egy ütés kell ahhoz, hogy letörjünk egy darabot	mészkő, márvány, fillit, pala, homokkő
25-50	Geológuskalapács egy ütésével darab letörhető; késsel nem sérthető	agyagkő, iszapkő, pala, szén, beton
5-25	Késsel nehezen hégazható, geológuskalapáccsal egy pontban a felszínen sebezhető	kréta, kősz, hamuzsír
1-5	Késsel hégazható, geológuskalapács erős ütésétől szétporlad	nagyon mállott kőzetek
0,25-1	Tűvel megsérthető, karcolható	kemény töredezett anyag

RQD osztályai és jelzőszáma az RMR osztályozáshoz

Minősítése	RQD (%)	Jelzőszám
Kitűnő	90 – 100	20
Jó	75 – 90	17
Megfelelő	50 – 75	13
Gyenge	25 – 50	8
Nagyon gyenge	< 25	3

A tagoltságok közötti távolságok osztályozása és a hozzá rendelhető jelzőszáma

Minősítése	Távolság [m]	Jelzőszám
Nagyon messzi	> 2	20
Messzi	0,6 – 2	15
Közepesen távoli	0,2 – 0,6	10
Közele	0,06 – 0,2	8
Nagyon közele	< 0,06	5

A tagoltságok állapota szerinti osztályozás

Leírás	Jelzőszám
Nagyon érdes és üde állapotú, a kőzettestek szorosan érintkeznek, nincs szétválás	30
Érdes és kissé mállott, a szétválás kisebb, mint 1 mm.	25
Kissé érdes és közepesen vagy erősen mállott, a szétválás kisebb, mint 1 mm.	20
Csúszós felület vagy 5 mm vastag. Kitöltés, vagy 1-5 mm folytonos szétválás	10
A szétválás nagyobb, mint 5 mm, puha anyaggal kitöltött, a folytonos diszkontinuitás legalább 5 mm széles	0

A 10 m hosszan történő vízbeszivárgás mértékével határozzák meg ezt az RMR jelzőszámot. A vízbefolyáson kívül meghatározható (és adott esetben meg is kell határozni) a tagoló-felületben lévő víznyomás mértéke, valamint általánosságban a felületen várhatóan megjelenő vízmennyiséget.

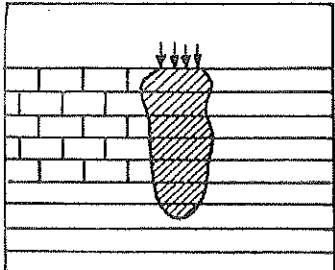
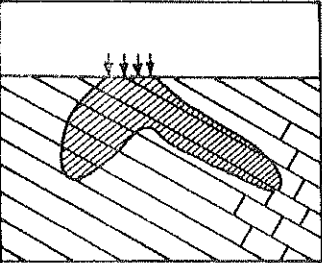
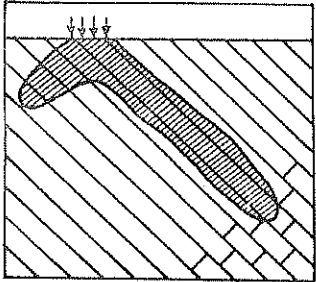
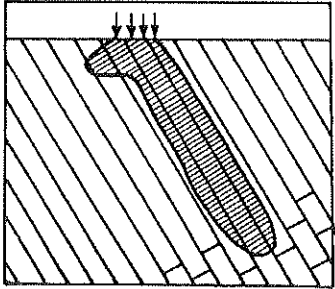
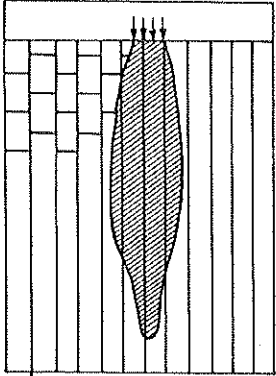
Víz jelenlétének értékelése az RMR módszernél

10 m-es alagúthosszon vízbefolyás (l/perc)	Nincs	< 10	10-25	25-125	> 125
pórusvíznyomás/ főfeszültség	0	0-0,1	0,1-02	0,2-05	> 0,5
Leírás	teljesen száraz	párás	Nedves	csepegés	folyás
Jelzőszám	15	10	7	4	0

A fenti tényezők összeadásával kapjuk meg az ún. RMR_{alap} értéket. Ez az érték még független a tervezett műtárgy és a tagoltsági irányok közötti kapcsolattól. Fontos, hogy a tagoltság irányától függő tényezőt figyelembe vegyük. Ehhez ismernünk kell a tagoltságok csapásirányát, dőlésirányát és dőlésszögét. Azt, hogy az alagút kihajtásának iránya kedvező, vagy kedvezőtlen-e, a tagoltságok térbeli elhelyezkedésének ismeretében lehet meghatározni.

A besorolás alapján az RMR_{alap} értéket csökkentjük az alábbi táblázatban megadott jelzőszámokkal:

A tagoltság és az alaptest helyzetétől függő besorolás szerint meghatározható csökkentő tényezők az RMR érték számításához

	Tagoltság helyzete	Csökkentő tényező
	Nagyon kedvező $\delta = 0^\circ$	0
	Kedvező $\delta = 30^\circ$	-2
	Megfelelő $\delta = 45^\circ$	-7
	Kedvezőtlen $\delta = 60^\circ$	-12
	Nagyon kedvezőtlen $\delta = 90^\circ$	-25

A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a határteherbírás drasztikusan lecsökken függőleges irányú tagoltsági rendszer esetén. Ilyenkor mély határmélységgel kell számolni. Az így meghatározott RMR érték segítségével lehetőség van az alaptest alatti kőzettest osztályozására és a határteherbírásának (σ_H) megadására is a

$$\sigma_H = 3,4 \text{ RMR}^{1,6} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

összefüggés alapján. Fontos kiemelni, hogy a táblázat csak abban az esetben használható, ha az alaptest alatti kőzettest minősége állandónak tekinthető. Abban az esetben, ha a felső zóna RMR tényezője az alaptest szélességének kb. negyedének megfelelő zónájában az RMR tényező kisebb értékű, akkor számításnál vagy ezt kell figyelembe venni, vagy pedig ezt a gyengébb réteget ki kell váltani.

A közetmechanikai paraméterek pontosabb meghatározására a Geológiai Szilárdsági Index (GSI) alkalmazható. Szemrevételezéssel a GSI értéke felvétele után a Hoek-Brown törési határfeltételt alkalmazva a mind a Mohr-Coulomb, mind a Hoek-Brown állandók kiszámíthatóak (lsd. alább).

7. Mérnökgeológiai számítások

7.1 RMR érték meghatározása

A tervezett műtárgy mentén mindkét oldalon dolomitra kell számítani a teljes határmélységig, melynek szilárdságát helyszíni vizsgálatok alapján 50 MPa nagyságrendűnek vettünk fel. A geológiai fejezetben bemutatottan a tengellyel közel megegyező irányú 70-75°-os tagoltságok figyelhetők meg, melyeknél a tagoltságok zártak, állapotuk jó. A tagoltságok egymástól mért távolsága változó, 10-20 cm átlagban.

RMR értékek meghatározásánál az alábbi értékeket vettük figyelembe:

1. A kőzet egyirányú nyomószilárdsága; (r_σ) : 7 pont
2. RQD tényező; (r_{RQD}) – 17 pont
3. A tagoltságok távolsága („sűrűsége”); (r_x) – 8 pont
4. A tagoltságok állapota; (r_a) – 30 pont
5. Réteg- és talajvizek; (r_G) – 10 pont

A fentiek alapján RMR_{alap} értéke: 72 pont.

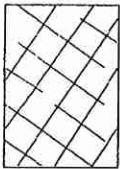
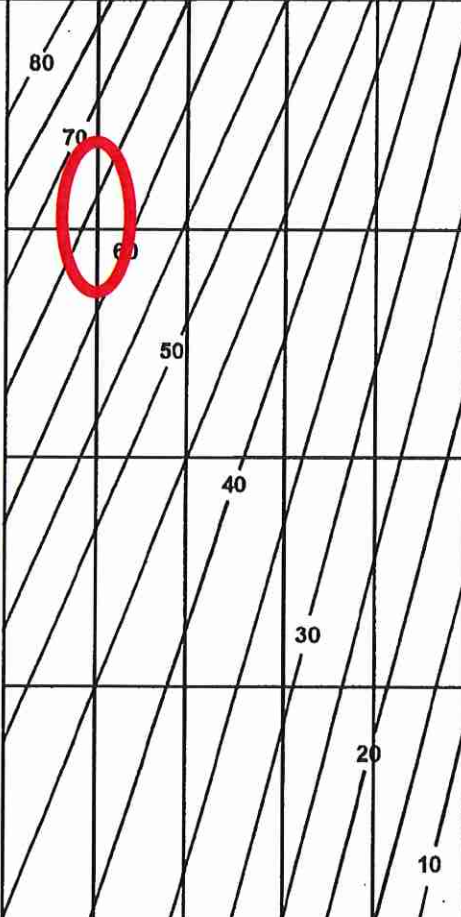
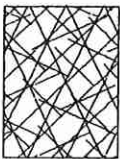


A legrosszabb állapotot feltételezve -25 pontos csökkentő tényező esetén RMR értéke 47-re adódik.

Ez alapján a közelítő számításhoz felvehető határterhbírás értéke:

$$\sigma_H = 3,4 \text{ RMR}^{1,6} = 1610 \text{ kN/m}^2$$

7.2 GSI érték meghatározása

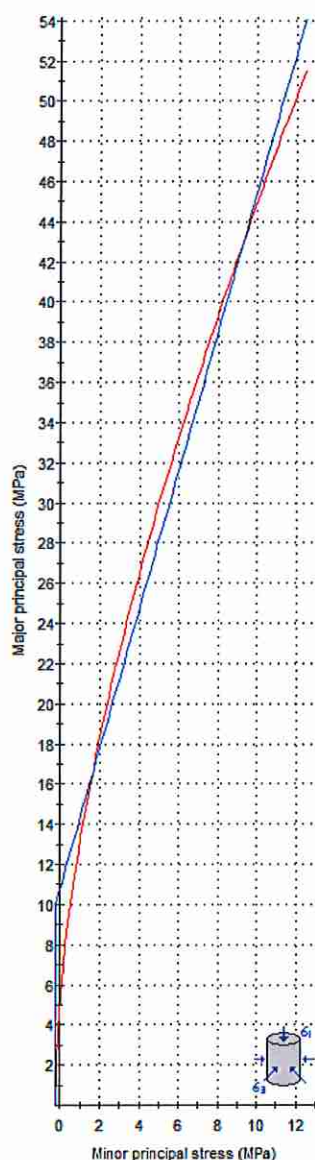
Definíció szerint a GSI értéke az $\text{RMR}_{\text{alap}} - 5$ -el egyenlő, azaz 67-el. A diagram alapján, e helyi viszonyokat figyelembe véve, a 65-70 körüli GSI érték reális, elfogadható:

GEOLÓGIAI SZILÁRDSÁGI INDEX (GSI) SZERKEZET		TAGOLÓFELÜLET ÁLLAPOTA NAGYON JÓ , Nagyon érdes és üde felülettel, JÓ , Érdes kissé mállott vagy vasfoltos felülettel. TÜRHETŐ , Sima és/vagy mérsékelten mállott és átalakult felülettel. GYENGE , Símára kopott v. erősen mállott felületek v. szögletes törmelékkel kitöltött réteg NAGYON GYENGE , Sovány agyaggal kitöltött símára kopott és erősen mállott felületek
		CSÖKKENŐ FELÜLETI MINŐSÉG ▽
 BLOKKOS - nagyon jól összekapcsolódó ép kőzettest, mely kocka-tömböket tartalmaz melyeket 3 orthogonális diszkontinuitás szabdal	A KŐZETTÖMBÖK KAPCSOLATÁNAK CSÖKKENÉSE 	80
 NAGYON BLOKKOS - összekapcsolódó, részlegesen töredezett kőzettest, melyet 4 vagy annál több diszkontinuitás szabdalja		70
 BLOKKOS/TÖREDEZETT - töredezett és/vagy gyűrt szögletes kőzettömbökből álló kőzettest, melyet számos diszkontinuitás szabdal		60
 SZÉTESŐ - rosszúl összekapcsolódó, erősen töredezett kőzettest, mely érdes és kopott törmelékekből áll		50
		40
		30
		20
		10

Hoek-Brown törési határfeltétel alapján a kőzettest mechanikai paraméterei az alábbiak:
Felvett értékek (biztonság javára a legkisebb értékkel számolva):

- GSI: 60
- Egyirányú nyomószilárdság: 40 MPa
- Hoek-Brown állandó $m_i = 10$ (szakirodalom alapján)

ANALYSIS OF ROCK STRENGTH USING ROCCLAB

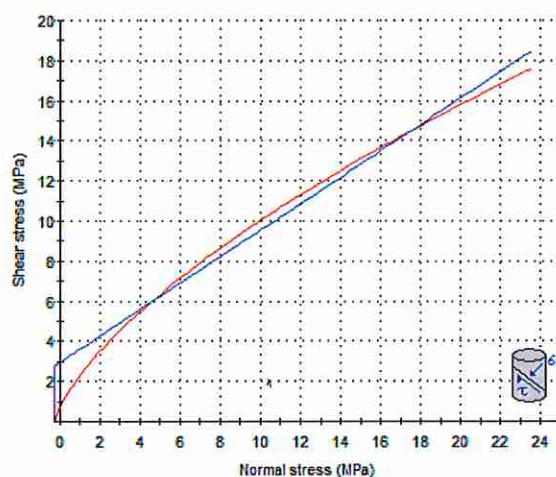


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 50 MPa
 GSI = 60 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion
 $m_b = 2.397$ $s = 0.0117$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 2.936 MPa friction angle = 33.45 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.245 MPa
 uniaxial compressive strength = 5.350 MPa
 global strength = 10.918 MPa
 modulus of deformation = 20364.99 MPa



Számított értékek:

- *Mohr-Coulomb paraméterek:*
 - Belső súrlódási szög (ϕ): 33°
 - Kohézió (c): 2 900 kN/m²
- *Hoek-Brown paraméterek:*
 - $m_b = 2,397$
 - $s = 0,0117$
 - $a = 0,503$

valamint a kőzettest mechanikai paramétereit ezen elmélet alapján

- Húzószilárdság (σ_{tm}): 0,245 MPa
- Húzószilárdság (σ_{tm}): 5,35 MPa
- Alakváltozási modulus (E): 2,04 GPa

A fent megadott fizikai paraméterek ismeretében a híd alapozása, ill. a kihorgonyzás megtervezhető, kiszámolható.

Budapest, 2019. május 31.



dr. Vásárhelyi Balázs
okl. építőmérnök, geotechnikai tervező
GT: 01-9515

